

ΒΑΣΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ

Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται βασικά στοιχεία κυκλωμάτων συνεχούς ρεύματος καθώς και τα εξαρτήματα των ηλεκτρικών κυκλωμάτων.

Επίσης, περιγράφονται βασικές αρχές και μέθοδοι υπολογισμού και μέτρησης ηλεκτρικών μεγεθών, όπως της τάσης, ρεύματος, αντίστασης, ισχύος κ.λπ.

Σκοπός του κεφαλαίου είναι να **κατανοήσουν** οι μαθητές τα βασικά στοιχεία των ηλεκτρικών κυκλωμάτων και τα εξαρτήματα αυτών και να **αναπτύξουν** ικανότητα υπολογισμού και μέτρησης ηλεκτρικών μεγεθών σε απλά κυκλώματα, αλλά και να **κατανοήσουν** τη λειτουργία των οργάνων μέτρησης.

2 – 1. Βασικά στοιχεία κυκλωμάτων – Σύμβολα και διαγράμματα

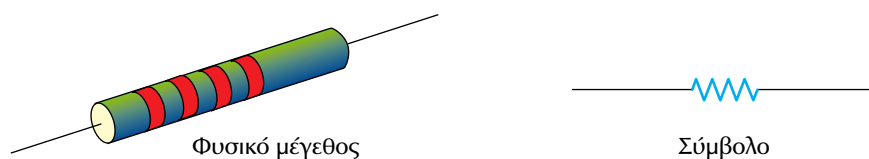
Ένα ηλεκτρικό κύκλωμα περιλαμβάνει τα εξής επί μέρους δομικά στοιχεία:

- Πηγή ενέργειας για την παροχή τάσης που απαιτείται για τη ροή ρεύματος στο κύκλωμα.
- Αγωγούς μέσα από τους οποίους θα περάσει το ρεύμα.
- Μονωτές για τον περιορισμό του ρεύματος στις επιθυμητές διαδρομές (αγωγούς, αντιστάσεις κ.λ.π.).
- Ένα φορτίο για να ελεγχθεί η ποσότητα του ρεύματος και να μετατραπεί η ηλεκτρική ενέργεια που λαμβάνεται από την πηγή σε άλλη μορφή ενέργειας (π.χ. θερμότητα).
- Συσσκευή ελέγχου (συνήθως διακόπτη) για να ξεκινά και να σταματά η ροή του ρεύματος.
- Μία συσκευή προστασίας για τη διακοπή του ρεύματος σε περίπτωση κακής λειτουργίας του κυκλώματος.

Τα τέσσερα πρώτα στοιχεία είναι απαραίτητα για οποιοδήποτε ηλεκτρικό κύκλωμα, ενώ η συσκευή ελέγχου και η συσκευή προστασίας συχνά παραλείπονται.

Για την αναπαράσταση ενός ηλεκτρικού κυκλώματος χρησιμοποιούνται συνήθως σύμβολα για τα ηλεκτρικά εξαρτήματα, αντί να σχεδιάζονται εικόνες των εξαρτημάτων αυτών.

Έτσι, ένας αντιστάτης παριστάνεται με το σύμβολό του, όπως, φαίνεται στο σχήμα 2.1.



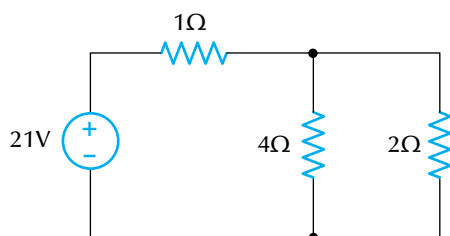
Σχήμα 2.1. Αντιστάτης α) Φυσικό μέγεθος, β) σύμβολο

Ανάλογα σύμβολα υπάρχουν για όλα τα ηλεκτρικά στοιχεία που συναντώνται σ' ένα ηλεκτρικό κύκλωμα. Η μόνη εξαίρεση είναι ότι, δεν υπάρχει σύμβολο για να διακρίνονται οι μονωμένοι αγωγοί από τους αγωγούς που δεν είναι μονωμένοι. Υποτίθεται ότι, υπάρχει μόνωση εκεί όπου χρειάζεται έτσι ώστε να

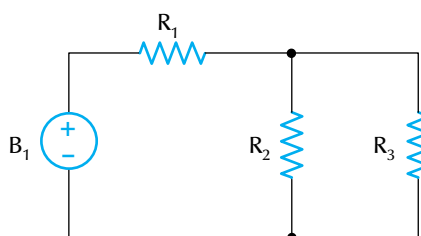
μην επιτρέπεται η επαφή εξαρτημάτων και αγωγών.

□ Το διάγραμμα το οποίο φέρει μόνο σύμβολα για να δείξει τη σύνδεση των εξαρτημάτων ονομάζεται **Σχηματικό διάγραμμα του κυκλώματος**.

Οι ηλεκτρικές τιμές των εξαρτημάτων που χρησιμοποιούνται στο κύκλωμα μπορούν επίσης να συμπεριληφθούν στο σχηματικό διάγραμμα του κυκλώματος είτε αναγράφοντας τις τιμές πάνω από τα αντίστοιχα εξαρτήματα (σχ. 2.2.(α)), είτε γράφοντας ένα αναγνωριστικό γράμμα ή σύμβολο πλάι σε κάθε εξάρτημα και οι τιμές των εξαρτημάτων δίνονται σε συνοδευτικό κατάλογο εξαρτημάτων (σχ. 2.2.(β)).



(α)



(β)

B_1 : Πηγή τάσης 21V, R_1 : Αντίσταση 1Ω
 R_2 : Αντίσταση 4Ω, R_3 : Αντίσταση 2Ω

Σχήμα 2.2. Τρόποι καθορισμού των τιμών των εξαρτημάτων

2 – 2. Ηλεκτρικές πηγές τάσης και ρεύματος (ανεξάρτητες, εξαρτημένες)

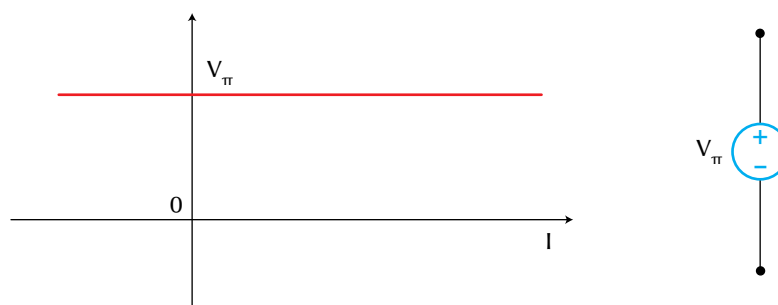
2 – 2.1. Πηγές τάσης

Οι πραγματικές πηγές τάσης είναι συσκευές που τείνουν να διατηρούν σταθερή τάση. Η ανάγκη μοντελοποίησης των πηγών αυτών οδήγησε στις ιδανικές πηγές τάσης οι οποίες διακρίνονται σε δύο κατηγορίες.

□ **Ιδανικές ανεξάρτητες πηγές τάσης:** είναι στοιχεία κυκλώματος που διατηρούν μια καθορισμένη τάση στους ακροδέκτες τους ανεξάρτητα από το

ρεύμα τους. Επομένως, η τάση μιας τέτοιας πηγής σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή είναι ανεξάρτητη της φύσης ή του μεγέθους των στοιχείων του κυκλώματος που συνδέονται μεταξύ των ακροδεκτών της και μόνο το ρεύμα εξαρτάται από τα συνδεόμενα μ' αυτήν στοιχεία.

Η χαρακτηριστική μιας ιδανικής ανεξάρτητης πηγής τάσης και το κυκλωματικό της σύμβολο φαίνονται στο σχ. 2.3.



Σχήμα 2.3. Χαρακτηριστική και σύμβολο ιδανικής ανεξάρτητης πηγής τάσης

□ **Ιδανικές εξαρτημένες πηγές τάσης:** είναι στοιχεία κυκλώματος όπου μία τάση ή ένα ρεύμα σε κάποια άλλη θέση του κυκλώματος καθορίζουν την τάση των ακροδεκτών τους. Επομένως, μια τέτοια πηγή μπορεί να είναι ελεγχόμενη είτε από τάση είτε από ρεύμα.

Εάν είναι ελεγχόμενη από κάποια τάση V_x τότε:

$$V_{\pi} = \mu \cdot V_x \quad (2.1)$$

όπου μ σταθερός αδιάστατος με διαστάσεις V / A .

Το κυκλωματικό σύμβολο μιας ιδανικής εξαρτημένης πηγής τάσης φαίνεται στο σχ. 2.4.



Σχήμα 2.4. Σύμβολο ιδανικής εξαρτημένης πηγής τάσης

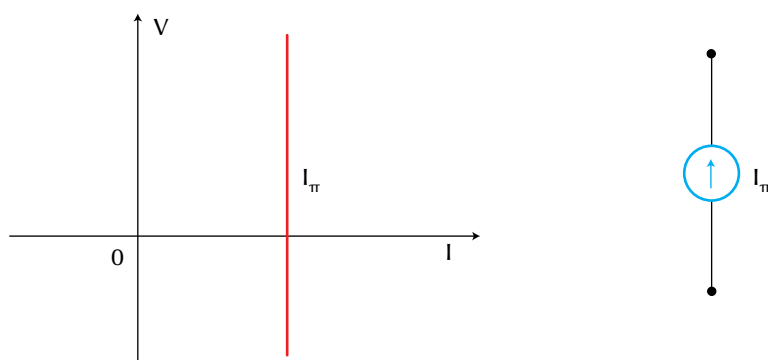
Βασικό κοινό γνώρισμα των ανεξάρτητων και εξαρτημένων πηγών τάσης είναι το ότι, δεν μπορούμε να εκφράσουμε το ρεύμα στην πηγή σαν συνάρτηση της τάσης των ακροδεκτών τους. Με άλλα λόγια, αν το μόνο που γνωρίζουμε είναι η τάση στα άκρα μιας πηγής τάσης, είτε ανεξάρτητης είτε εξαρτημένης, δεν έχουμε αρκετές πληροφορίες για να προσδιορίσουμε το ρεύμα που διαρρέει την πηγή.

2 – 2.2. Πηγές ρεύματος

Οι πραγματικές πηγές ρεύματος είναι συσκευές που τείνουν να διατηρούν σταθερό ρεύμα. Η ανάγκη μοντελοποίησης αυτών των πηγών οδήγησε στις ιδανικές πηγές ρεύματος οι οποίες διακρίνονται σε δύο κατηγορίες.

□ **Ιδανικές ανεξάρτητες πηγές ρεύματος:** είναι στοιχεία κυκλώματος που διατηρούν ένα καθορισμένο ρεύμα στους ακροδέκτες τους ανεξάρτητα από την τάση τους. Επομένως, το ρεύμα μιας τέτοιας πηγής σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή είναι ανεξάρτητο της φύσης ή του μεγέθους των στοιχείων του κυκλώματος που συνδέονται μεταξύ των ακροδεκτών της και μόνο η τάση εξαρτάται από τα συνδεόμενα μ' αυτήν στοιχεία.

Η χαρακτηριστική μιας ιδανικής ανεξάρτητης πηγής ρεύματος και το κυκλωματικό της σύμβολο φαίνονται στο σχήμα 2.5.



Σχήμα 2.5. Χαρακτηριστική και σύμβολο ιδανικής ανεξάρτητης πηγής ρεύματος

□ **Ιδανικές εξαρτημένες πηγές ρεύματος:** είναι στοιχεία κυκλώματος όπου ένα ρεύμα ή μία τάση σε κάποια άλλη θέση του κυκλώματος καθορίζουν το

ρεύμα τους. Επομένως, μια τέτοια πηγή μπορεί να είναι ελεγχόμενη είτε από ρεύμα είτε από τάση.

Εάν είναι ελεγχόμενη από κάποιο ρεύμα I_x τότε

$$I_{\pi} = \beta \cdot I_x \quad (2.3.)$$

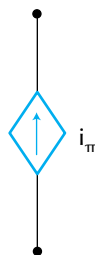
όπου β σταθερός αδιάστατος συντελεστής.

Εάν είναι ελεγχόμενη από κάποια τάση V_x τότε

$$I_{\pi} = \alpha \cdot V_x \quad (2.4.)$$

όπου α σταθερός συντελεστής με διαστάσεις A / V .

Το κυκλωματικό σύμβολο μιας ιδανικής εξαρτημένης πηγής ρεύματος φαίνεται στο σχ. 2.6.



Σχήμα 2.6. Σύμβολο ιδανικής εξαρτημένης πηγής ρεύματος

Βασικό κοινό γνώρισμα των ανεξάρτητων και εξαρτημένων πηγών ρεύματος είναι το ότι, δεν μπορούμε να εκφράσουμε την τάση στην πηγή σαν συνάρτηση του ρεύματός των. Με άλλα λόγια, αν το μόνο που γνωρίζουμε είναι το ρεύμα μιας πηγής ρεύματος, είτε ανεξάρτητης είτε εξαρτημένης, δεν έχουμε αρκετές πληροφορίες για να προσδιορίσουμε την τάση των ακροδεκτών της πηγής.

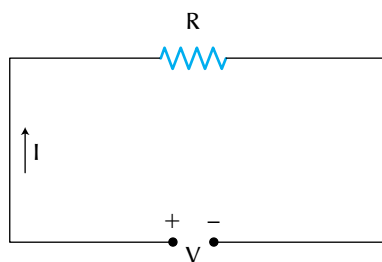
2 – 3. Νόμος του Ωμ (Ohm) και υπολογισμός τάσης, ρεύματος, αντίστασης

2 – 3.1. Νόμος του Ωμ (Ohm)

Η σχέση μεταξύ του ρεύματος (I), της τάσης (V) και της αντίστασης (R) μελετήθηκε από τον Γερμανό επιστήμονα Georg Ohm και προς τιμή του ονομάστηκε νόμος του Ohm.

Ο Ohm ανακάλυψε ότι το ρεύμα σ' ένα κύκλωμα μεταβάλλεται ευθέως ανάλογα με την τάση, όταν η αντίσταση μένει σταθερή. Έτσι, σε κάθε περίπτωση όταν διαιρούσε την τάση με το ρεύμα, το αποτέλεσμα ήταν το ίδιο.

Ο νόμος του Ohm διατυπώνεται ως εξής:



Σχήμα 2.7. Κύκλωμα έκφρασης του νόμου του Ohm.

❑ Το ρεύμα που διαρρέει μία αντίσταση, είναι ευθέως ανάλογο της τάσης που επικρατεί στα άκρα της αντίστασης και αντιστρόφως ανάλογο της αντίστασης.

δηλαδή

$$I = \frac{V}{R}$$

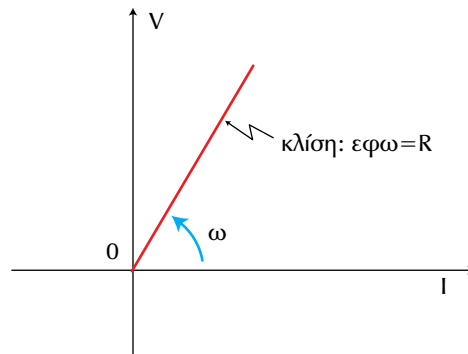
(2.5)

Η σχέση αυτή ισχύει προφανώς για σταθερούς αντιστάτες (ή ιδανικούς) οι οποίοι χαρακτηρίζονται από πολλές σημαντικές ιδιότητες, κυριότερες από τις οποίες είναι:

- η αντίστασή τους είναι σταθερή.
- είναι αμφίπλευροι· δηλαδή, αν η πολικότητα αντιστραφεί, αντιστρέφεται και η φορά του ρεύματος και αντίστροφα.
- είναι συγκεντρωμένα στοιχεία (μη κατανεμημένα), πράγμα που σημαίνει ότι

δεν περιέχουν πληροφορίες για τις διαστάσεις τους.

Η χαρακτηριστική ενός ιδανικού αντιστάτη (ή απλά αντίστασης) που αποτελεί ταυτόχρονα και τη γραφική παράσταση του νόμου του Ohm, είναι ευθεία γραμμή που διέρχεται από την αρχή των αξόνων, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.8.

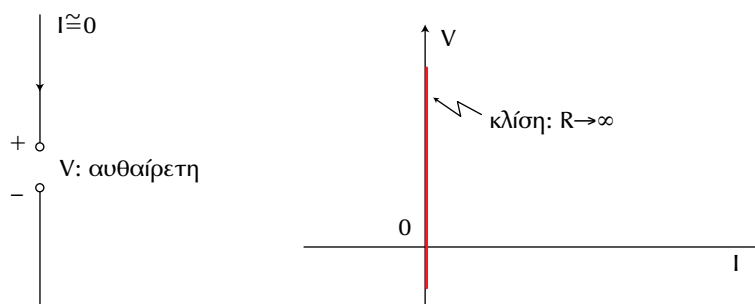


Σχήμα 2.8. Νόμος του Ohm για σταθερή αντίσταση

Ειδικές περιπτώσεις: Δύο ειδικοί τύποι ιδανικών αντιστάσεων που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον είναι το ανοικτό κύκλωμα και το βραχυκύκλωμα.

□ **Ανοικτό κύκλωμα:** είναι ένα στοιχείο δύο ακροδεκτών του οποίου το ρεύμα είναι εκ ταυτότητας μηδέν ανεξάρτητα από την εφαρμοζόμενη κάθε φορά τάση.

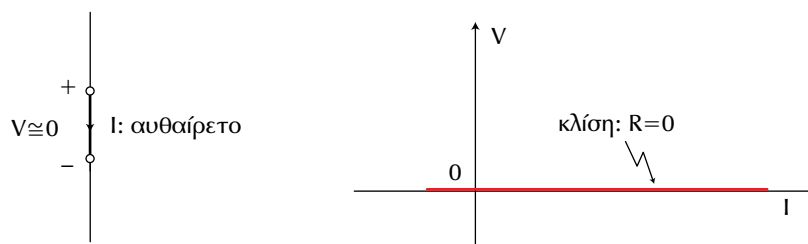
Η χαρακτηριστική ενός ανοικτού κυκλώματος και το κυκλωματικό σύμβολο αυτού φαίνονται στο σχήμα 2.9.



Σχήμα 2.9. Σύμβολο και χαρακτηριστική του ανοικτού κυκλώματος

□ **Βραχυκύκλωμα:** είναι ένα στοιχείο δύο ακροδεκτών του οποίου είναι εκ ταυτότητας μηδέν ανεξάρτητα από το διερχόμενο κάθε φορά ρεύμα.

Η χαρακτηριστική ενός βραχυκυκλώματος και το κυκλωματικό σύμβολο αυτού φαίνονται στο σχήμα 2.10.



Σχήμα 2.10. Σύμβολο και χαρακτηριστική βραχυκυκλώματος

2 – 3.2. Υπολογισμός τάσης, ρεύματος και αντίστασης

Από το νόμο του Ohm (σχέση 2.1.) είναι εύκολος ο υπολογισμός ενός εκ των τριών μεγεθών V , I , R εάν είναι γνωστά τα άλλα δύο μεγέθη.

Λύνοντας τη σχέση (2.1) ως προς την τάση προκύπτει:

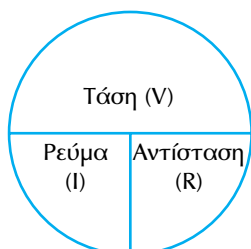
$$V = I \cdot R \quad (2.6)$$

Τέλος για την αντίσταση προκύπτει:

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.7)$$

Υπάρχει λοιπόν η δυνατότητα υπολογισμού των τριών μεγεθών V , I , R κάνοντας χρήση του νόμου του Ohm, παίρνοντας κάθε φορά την κατάλληλη σχέση.

Ένα βοήθημα για να θυμάστε τις σχέσεις του νόμου του Ohm φαίνεται στο χωρισμένο σε τμήματα κύκλο του σχήματος 2.11.



Σχήμα 2.11. Ο κύκλος του νόμου του Ohm

Για να χρησιμοποιήσετε το βοήθημα, απλά καλύψτε την ποσότητα που θέλετε να βρείτε και κάνετε τον πολλαπλασιασμό ή τη διαίρεση που υποδεικνύετε. Π.χ. Καλύψτε το R και το υπόλοιπο του κύκλου δείχνει την τάση (V) διαιρεμένη με το ρεύμα (I).

2 – 4. Υπολογισμός ισχύος – ενέργειας – κόστους ηλεκτρικής ενέργειας

Εφόσον το ρεύμα και η τάση είναι ποσότητες οι οποίες μπορούν εύκολα να υπολογισθούν, η ισχύς (P) που καταναλώνεται σε κάποιο φορτίο ή προσφέρεται από κάποια πηγή εύκολα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P = V \cdot I \quad (2.8)$$

Η ηλεκτρική ενέργεια (W), προϋποθέτει γνώση της ισχύος (P) και του χρονικού διαστήματος (t), για το οποίο ζητείται και υπολογίζεται από τη σχέση

$$W = P \cdot t \quad (2.9)$$

Τέλος, το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να καθοριστεί από την ποσότητα της ενέργειας που καταναλώθηκε και τη χρέωση ανά μονάδα ενέργειας. Συνήθως η χρέωση δίνεται σε δραχμές ανά κιλοβατώρα. Έτσι, το κόστος υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\begin{aligned} \text{Κόστος} &= (\text{τιμή μονάδας ενέργειας}) \times (\text{ενέργεια}) = \\ &= (\text{δρχ} / \text{KWh}) \times (\text{KWh}) \end{aligned} \quad (2.10)$$

2 – 5. Μέτρηση ηλεκτρικών μεγεθών με τη βοήθεια οργάνων και σφάλματα μετρήσεων

Οι ηλεκτρικές μετρήσεις, χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο και επομένως για τη σωστή και αποδοτική λειτουργία των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, των ηλεκτρικών εξαρτημάτων και των ηλεκτρικών μηχανών.

Κατά τις ηλεκτρικές μετρήσεις με τη χρήση κατάλληλων μεθόδων και οργάνων προσδιορίζονται τα διάφορα ηλεκτρικά μεγέθη.

Τα όργανα είναι διατάξεις που έχουν σχέση με το φυσικό μέγεθος που θέλουμε να μετρήσουμε.

2 – 5. 1. Είδη οργάνων και αρχές λειτουργίας αυτών

Με βάση την αρχή λειτουργίας τους, τα κλασικά όργανα διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- α) **Όργανα στρεπτού πηνίου (ή μαγνητοηλεκτρικά όργανα):** η λειτουργία τους στηρίζεται στη ροπή που αναπτύσσεται σε στρεπτό πηνίο, το οποίο διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα και βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο μόνιμου μαγνήτη.
- β) **Όργανα κινητού σιδήρου (ή ηλεκτρομαγνητικά όργανα):** η λειτουργία τους στηρίζεται σε μια δύναμη που ασκείται στο σιδηρομαγνητικό υλικό, το οποίο βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο. Το πεδίο δημιουργείται από ένα σταθερό πηνίο, το οποίο διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα.
- γ) **Ηλεκτροδυναμικά όργανα:** η λειτουργία τους είναι ίδια με εκείνη των οργάνων στρεπτού πηνίου με τη διαφορά ότι υπάρχει ηλεκτρομαγνήτης αντί μόνιμου μαγνήτη.
- δ) **Ηλεκτροστατικά όργανα:** η λειτουργία τους στηρίζεται σε μηχανικές δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ σωμάτων που βρίσκονται υπό τάση.
- ε) **Θερμικά όργανα:** η λειτουργία τους στηρίζεται στη θερμότητα που ελκύεται κατά τη διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος από έναν αγωγό.
- στ) **Επαγωγικά όργανα:** η λειτουργία τους είναι ίδια με τη λειτουργία των ασύγχρονων κινητήρων.

• Με βάση το μέγεθος το οποίο μετρούν, τα όργανα διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- α) **Αμπερόμετρα:** μετρούν την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος.
- β) **Βολτόμετρα:** μετρούν την τάση μεταξύ δύο σημείων.
- γ) **Βατόμετρα:** μετρούν την ισχύ που απορροφά μία κατανάλωση.
- δ) **Συχνόμετρα:** μετρούν τη συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος.

ε) **Θερμόμετρα:** μετρούν τη θερμοκρασία ενός σώματος.

στ) **Υγρόμετρα:** μετρούν την υγρασία ενός χώρου.

• Με βάση τον τρόπο με τον οποίο μας παρέχουν την τιμή του μετρούμενου μεγέθους, τα όργανα διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

α) **Ενδεικτικά όργανα:** παρέχουν μέσω δείκτη ή φωτεινού σήματος ή ψηφιακού συστήματος την τιμή που έχει το μετρούμενο μέγεθος κατά τη στιγμή της μέτρησης.

β) **Καταγραφικά όργανα:** καταγράφουν αυτόματα (αργά ή γρήγορα) συναρτήσει του χρόνου ή άλλου μεγέθους το μέγεθος που μετρούν.

γ) **Αθροιστικά όργανα:** παρέχουν αθροιστικά την τιμή ενός μεγέθους από κάποια χρονική στιγμή και μετά.

2 – 5.2. Μέτρηση έντασης – Αμπερόμετρα

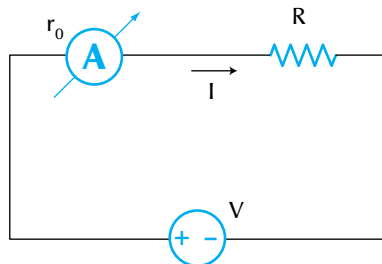
Η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος μετριέται με ειδικά όργανα, τα **αμπερόμετρα**. Με βάση την αρχή λειτουργίας των οργάνων, όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, διαπιστώνουμε ότι όλα τα όργανα, εκτός από τα ηλεκτροστατικά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αμπερόμετρα, καθότι η κινούσα ροπή τους, οφείλεται στη διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος.

Η μέτρηση έντασης σε συνεχή ρεύματα μπορεί να γίνει με όργανα κινητού πηνίου και κινητού σιδήρου, ενώ για τη μέτρηση τάσης σε εναλλασσόμενα ρεύματα τα όργανα αυτά πρέπει να διαθέτουν και ανορθωτικές διατάξεις.

Τα όργανα κινητού σιδήρου, τα ηλεκτροδυναμικά, τα θερμικά και τα επαγωγικά είναι κατάλληλα για απευθείας μετρήσεις συνεχών και εναλλασσόμενων ρευμάτων.

Τα αμπερόμετρα συνδέονται **σε σειρά** στο κύκλωμα στο οποίο θέλουμε να μετρήσουμε την ένταση. Η σύνδεση όμως του οργάνου στο κύκλωμα αλλάζει την κατάσταση που επικρατούσε πριν από τη σύνδεση επειδή αυξάνεται η αντίσταση του κυκλώματος με την παρεμβολή της εσωτερικής αντίστασης r_0 του οργάνου. Έτσι, υπάρχει σφάλμα κατά τη μέτρηση της έντασης του ρεύματος.

Στο κύκλωμα του παρακάτω σχήματος 2.12 το αμπερόμετρο εσωτερικής αντίστασης r_0 συνδέθηκε για να μετρήσει το ρεύμα του κυκλώματος.



Σχήμα 2.12. Μέτρηση έντασης

Πριν από τη σύνδεση του αμπερομέτρου το ρεύμα του κυκλώματος ήταν $I_0 = V / R$, ενώ μετά τη σύνδεσή του το ρεύμα είναι $I = V / (R + r_0)$. (Βλέπε Κεφ. 3ο, σε σειρά συνδεσμολογία αντιστάσεων).

Το σχετικό σφάλμα μέτρησης της έντασης ορίζεται από τη σχέση:

$$\sigma = \frac{\Delta I}{I_0} = \frac{I_0 - I}{I_0}$$

Άρα, στην περίπτωση αυτή, αυτό είναι:

$$\sigma = \frac{\Delta I}{I_0} = \frac{I_0 - I}{I_0} = \frac{\frac{V}{R} - \frac{V}{R + r_0}}{\frac{V}{R}} = \frac{r_0}{r_0 + R} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \sigma = \frac{1}{1 + \frac{R}{r_0}} \quad (2.11)$$

Από τη σχέση αυτή είναι φανερό ότι:

Αν $r_0 \rightarrow 0$, τότε $\sigma \rightarrow 0$. Επομένως, το σφάλμα μέτρησης ελαχιστοποιείται, αν η εσωτερική αντίσταση του αμπερομέτρου είναι πολύ μικρή.

Με βάση τα παραπάνω, τα αμπερόμετρα πρέπει να κατασκευάζονται με πολύ μικρή εσωτερική αντίσταση r_0 . Στην πράξη η αντίστασή τους συνήθως είναι μερικά δέκατα ή εκαταστά του (Ω).

2 – 5.3. Μέτρηση τάσης – Βολτόμετρα

Η ηλεκτρική τάση μετριέται με ειδικά όργανα, τα βολτόμετρα.

Με βάση την αρχή λειτουργίας των οργάνων διαπιστώνουμε και πάλι (ό-

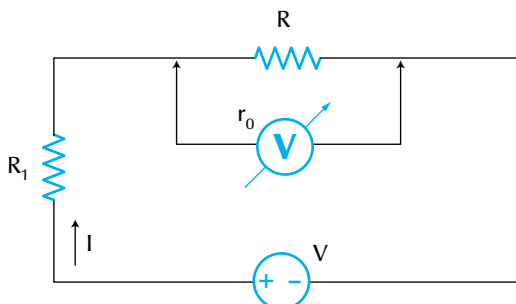
πως και στα αμπερόμετρα) ότι όλα τα όργανα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βολτόμετρα, καθόσον η κινούσα ροπή τους οφείλεται στη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος.

Για τη μέτρηση τάσης Σ.Ρ. χρησιμοποιούνται όργανα κινητού πηνίου. Για τη μέτρηση τάσης Ε.Ρ. χρησιμοποιούνται όργανα θερμικά, επαγωγικά και ηλεκτροστατικά.

Για τη μέτρηση τάσης Σ.Ρ. και Ε.Ρ. χρησιμοποιούνται όργανα κινητού σιδήρου εφοδιασμένα με ανορθωτικές διατάξεις.

Τα βολτόμετρα συνδέονται **παράλληλα** στο τμήμα του ηλεκτρικού κυκλώματος του οποίου θέλουμε να μετρήσουμε την τάση. Η σύνδεση όμως του οργάνου στο κύκλωμα αλλάζει την κατάσταση που επικρατούσε πριν από τη σύνδεση, καθόσον μειώνεται η αντίσταση του κυκλώματος λόγω της εσωτερικής αντίστασης r_0 . Συνεπώς, υπεισέρχεται κάποιο σφάλμα στη μέτρηση της τάσης.

Στο κύκλωμα του σχήματος 2.13 το βολτόμετρο εσωτερικής αντίστασης r_0 συνδέεται για να μετρήσει την τάση στα άκρα της αντίστασης R .



Σχήμα 2.13. Μέτρηση τάσης

Πριν από τη σύνδεση του βολτομέτρου η τάση στα άκρα της αντίστασης R είναι

$$V_0 = I \cdot R = \frac{V}{R + R_1} \cdot R \quad \Rightarrow \quad V_0 = V \cdot \frac{R}{R + R_1}$$

ενώ μετά τη σύνδεση η τάση γίνεται $V_M = V \cdot \frac{R // r_0}{R // r_0 + R_1}$

(βλέπε Κεφ. 3ο, συνδεσμολογίες αντιστάσεων)

Κατόπιν πράξεων, το σχετικό σφάλμα μέτρησης της τάσης προκύπτει ίσο με:

$$\sigma = \frac{\Delta V}{V_0} = \frac{V_0 - V_M}{V_0} = \frac{1}{1 + r_0 \cdot \frac{R + R_1}{R R_1}} \quad (2.12)$$

Αν $r_0 \rightarrow \infty$, τότε $\sigma \rightarrow 0$ και επομένως το σφάλμα μέτρησης ελαχιστοποιείται, όταν η εσωτερική αντίσταση του βολτομέτρου είναι πολύ μεγάλη.

Με βάση τα παραπάνω, τα βολτόμετρα πρέπει να κατασκευάζονται με πολύ μεγάλη εσωτερική αντίσταση.

Στην πράξη η αντίστασή τους είναι μεγαλύτερη από 10 (ΚΩ).

2 – 5.4. Όργανα πίνακα

□ Ένα όργανο μέτρησης που μετρά μόνο μία από τις ποσότητες V , I , R ονομάζεται όργανο πίνακα.

Αυτά τα όργανα είναι συχνά μόνιμα συνδεδεμένα σ' ένα κύκλωμα, έτσι ώστε να μπορεί κάποιος να παρακολουθεί συνέχεια μια ηλεκτρική ποσότητα. Τα όργανα αυτά μπορεί να είναι είτε αναλογικά είτε ψηφιακά. Στο σχήμα 2.14 φαίνεται ένα αναλογικό όργανο πίνακα.



Σχήμα 2.14. Αναλογικό όργανο πίνακα

Όταν διαβάζεται ένα αναλογικό όργανο, η τιμή μέτρησης γενικά λαμβάνεται σαν η πλησιέστερη ένδειξη μικρότερης υποδιαίρεσης. Εάν ο δείκτης (βελόνα) βρίσκεται στη μέση δύο υποδιαίρεσεων, τότε η μετρούμενη τιμή είναι το μισό των υποδιαίρεσεων.

Πριν διαβάσετε την ένδειξη ενός αναλογικού οργάνου μέτρησης, πρέπει να

αναγνωρίσετε την τιμή υποδιαίρεσης της κλίμακας.

Κοιτάξτε την κλίμακα του οργάνου στο σχήμα 2.14. Παρατηρείστε ότι υπάρχει μια παχιά γραμμή ανάμεσα στο 0 και το 10. Αυτή αντιπροσωπεύει 5 μονάδες. Μετρήστε τώρα τον αριθμό των υποδιαίρεσεων (δευτερεύουσες υποδιαίρεσεις) μεταξύ του 0 και 5. Αφού υπάρχουν 5 υποδιαίρεσεις σημαίνει ότι κάθε δευτερεύουσα υποδιαίρεση αντιπροσωπεύει 1 μονάδα. Άρα, κάθε δευτερεύουσα υποδιαίρεση στην κλίμακα αντιπροσωπεύει 1 μA .

Έτσι, π.χ. εάν η βελόνα δείχνει τη δεύτερη υποδιαίρεση δεξιά του αριθμού 30, η ένδειξη του οργάνου θα είναι 32 μA .

Στο σχήμα 2.15. φαίνεται ένα ψηφιακό όργανο πίνακα.



Σχήμα 2.15. Ψηφιακό όργανο πίνακα

Στα όργανα αυτά δεν υπάρχει ανάγκη να αποφασίσετε ποια υποδιαίρεση είναι η πλησιέστερη στο δείκτη. Η ένδειξη του οργάνου είναι σαφής.

Τα ψηφιακά όργανα χαρακτηρίζονται συνήθως από τον αριθμό των ψηφίων που απεικονίζουν.

Εάν το πιο σημαντικό ψηφίο (στα αριστερά) μπορεί να είναι μόνο 0 ή 1 υπολογίζεται σαν μισό ψηφίο. Έτσι, το όργανο του σχήματος 2.15 είναι ένα όργανο $3\frac{1}{2}$ ψηφίων, και παρόλο που αποκαλείται όργανο μέτρησης 2 V, η μέγιστη τάση που μπορεί να μετρήσει είναι 1,999 V.

2 – 5.5. Πολύμετρα

❑ Πολύμετρα ονομάζονται τα όργανα που μπορούν να μετρήσουν δύο ή περισσότερες ηλεκτρικές ποσότητες.

Αυτά χρησιμοποιούν τον ίδιο βασικό μηχανισμό για την ένδειξη ενός μεγέθους με τα όργανα πίνακα, με τη διαφορά ότι έχουν περισσότερες από μία κλίμακες τυπωμένες στην πρόσοψή τους καθώς επίσης και επί πλέον κυκλώματα (διακόπτες, αντιστάσεις, κ.λπ.) μέσα τους.

Τα όργανα αυτά μπορεί να είναι είτε αναλογικά είτε ψηφιακά. Στο σχήμα 2.16 φαίνεται ένα αναλογικό πολύμετρο.



Σχήμα 2.16. Αναλογικό πολύμετρο

Παρότι τα διάφορα αναλογικά πολύμετρα μπορεί να φαίνονται διαφορετικά, εν τούτοις όλα έχουν λειτουργίες, περιοχές και κλίμακες.

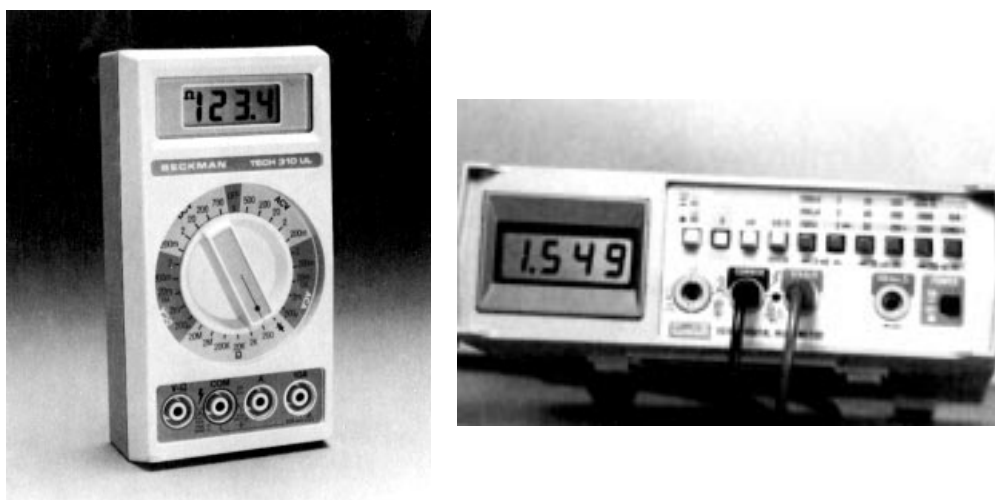
- Η λειτουργία αναφέρεται στο μέγεθος που μετριέται.
- Η περιοχή αναφέρεται στην τιμή του μεγέθους που μπορεί να μετρηθεί.

- Το ποια κλίμακα του οργάνου θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται και από τη λειτουργία και από την περιοχή στην οποία έχει ρυθμιστεί το όργανο.

Το πολυμέτρο του σχήματος 2.16 έχει τέσσερις λειτουργίες (DCV, ACV, Ω και DCMA), όπως φαίνεται με τις τέσσερις κυκλικές αγκύλες γύρω από το μεγάλο διακόπτη επιλογής. Σε κάθε λειτουργία, είναι διαθέσιμος ένας αριθμός κλιμάκων.

Εκτός από τη λειτουργία (Ω), η περιοχή δείχνει τη μέγιστη τιμή του μεγέθους που μπορεί να μετρηθεί σε μια δεδομένη περιοχή. Για τη λειτουργία (Ω), η περιοχή δείχνει την τιμή με την οποία πρέπει να πολλαπλασιαστεί η κλίμακα των Ohm.

Στο σχήμα 2.17 φαίνονται δύο τύποι ψηφιακών πολυμέτρων.



Σχήμα 2.17. Ψηφιακά πολύμετρα

2 – 5.6. Μέτρηση αντίστασης

Όταν πρόκειται να μετρηθεί μια αντίσταση, το πολυμέτρο πρέπει πρώτα να μηδενισθεί. Αυτό γίνεται με το περιστροφικό κουμπί που φέρει την ένδειξη Ω (βλέπε σχ. 2.16).

Αυτό περιστρέφεται μέχρι το όργανο να δείξει 0 στην κλίμακα των Ohm όταν οι ακροδέκτες μέτρησης είναι σε επαφή μεταξύ τους. Η διαδικασία αυτή γίνεται για κάθε περιοχή λειτουργίας Ohm. Στα ψηφιακά πολυμέτρα, δεν απαιτείται τέτοια ρύθμιση.

Η λειτουργία ενός πολυμέτρου ως ωμόμετρο χρησιμοποιεί ένα στοιχείο, μπαταρία ή τροφοδοτικό που βρίσκεται στο εσωτερικό του οργάνου. Δηλαδή, έχει τη δική του πηγή ενέργειας.

Επομένως, πρέπει να αποσυνδεθεί οποιαδήποτε άλλη πηγή ενέργειας από το κύκλωμα στο οποίο θα μετρηθεί η αντίσταση. Ποτέ μη μετράτε την αντίσταση ενός φορτίου όταν είναι συνδεδεμένο με πηγή ενέργειας. Εάν συμβεί κάτι τέτοιο, το ωμόμετρο θα πάθει ζημιά.

Η διαδικασία μέτρησης μιας αντίστασης είναι η ακόλουθη.

- Διακόπτουμε την παροχή ισχύος στο κύκλωμα.
- Επιλέγουμε μια κατάλληλη περιοχή στη λειτουργία των Ω m. Η κατάλληλη περιοχή είναι αυτή που δίνει την καλύτερη αναλυτική ικανότητα μέτρησης.
- Όταν χρησιμοποιείται το αναλογικό πολύμετρο, βραχυκυκλώνουμε (φέρνουμε σε επαφή) τους ακροδέκτες μέτρησης. Κατόπιν, ρυθμίζουμε με το κομβίο Ω m, μέχρι ο δείκτης να δείξει 0 Ω m.
- Συνδέουμε ή φέρνουμε σε επαφή, τους ακροδέκτες μέτρησης με τους ακροδέκτες της συσκευής της οποίας πρόκειται να μετρηθεί η αντίσταση. Εκτός από την περίπτωση ορισμένων ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, η πολικότητα των ακροδεκτών του ωμομέτρου δεν έχει σημασία.

Όταν μετράμε αντίσταση, δεν πρέπει να αγγίζουμε τα μεταλλικά μέρη των ακροδεκτών μέτρησης με τα χέρια μας. Αν γίνει αυτό, μαζί με την αντίσταση του κυκλώματος, θα μετράμε και την αντίσταση του σώματός μας. Αυτό δεν είναι βλαβερό για μας, όμως δεν θα είναι σωστή η ένδειξη αντίστασης.

2 – 5.7. Μέτρηση τάσης

Οι μετρήσεις τάσεις είναι οι πιο εύκολες ηλεκτρικές μετρήσεις και οι πιο κοινές. Αυτές οι μετρήσεις γίνονται με συνδεδεμένη στο κύκλωμα την ισχύ. Η διαδικασία μέτρησης τάσης είναι η ακόλουθη.

- Επιλέγουμε τη σωστή λειτουργία μέτρησης τάσης (AC για εναλλασσόμενο ρεύμα, DC για συνεχές ρεύμα).
- Επιλέγουμε μία περιοχή τάσης που είναι μεγαλύτερη από την αναμενόμενη τάση.
- Καθορίζουμε την πολικότητα της τάσης που πρόκειται να μετρήσουμε εξετάζοντας το σχηματικό διάγραμμα ή τους ακροδέκτες της μπαταρίας. Αυτό το βήμα παραλείπεται όταν μετράμε AC, επειδή η πολικότητα αντιστρέφεται κάθε κλάσμα του δευτερολέπτου.

- Συνδέουμε τον αρνητικό (μαύρο) ακροδέκτη του πολυμέτρου στο αρνητικό της τάσης που πρόκειται να μετρηθεί. Αγγίζουμε (ή συνδέουμε) το θετικό (κόκκινο) ακροδέκτη στο θετικό της τάσης. Με άλλα λόγια, ελέγχουμε την πολικότητα όταν μετράμε την τάση με ένα αναλογικό πολύμετρο. Εάν δεν γίνει αυτό, η βελόνα του οργάνου μπορεί να λυγίσει στην προσπάθειά της να περιστραφεί αντίθετα από το κανονικό.

2 – 5.8. Μέτρηση ρεύματος

Οι μετρήσεις ρεύματος είναι πολύ πιο σπάνιες από τις μετρήσεις τάσης ή αντίστασης. Αυτό συμβαίνει διότι το κύκλωμα πρέπει να διακοπεί για την εισαγωγή του οργάνου, καθότι γνωρίζουμε ότι το αμπερόμετρο συνδέεται σε σειρά με το στοιχείο του οποίου το ρεύμα θα μετρήσει.

Η διαδικασία μέτρησης ενός ρεύματος είναι η ακόλουθη.

- Επιλέγουμε τη λειτουργία μέτρησης ρεύματος.
- Επιλέγουμε μια περιοχή που είναι μεγαλύτερη από το αναμενόμενο ρεύμα.
- Διακόπτουμε το κύκλωμα.
- Πρόσεχοντας την πολικότητα, συνδέουμε το πολύμετρο στα σημεία που δημιουργήθηκαν από τη διακοπή του κυκλώματος.

2 – 6 Εφαρμογές

Εφαρμογή 1η

Ένας λαμπτήρας έχει αντίσταση 96 (Ω). Ποιο είναι το ρεύμα του λαμπτήρα όταν συνδέεται με τάση 120 (V).

Λύση

Εφαρμόζοντας το νόμο του Ohm (σχέση 2.5) προκύπτει:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{120}{96} \Rightarrow I = 1,25 \text{ (A)}$$

Επομένως, το ρεύμα που διαρρέει το λαμπτήρα είναι 1,25 (A).

Εφαρμογή 2η

Ποια είναι η αντίσταση ενός λαμπτήρα που απαιτεί 240 (mA) όταν συνδεθεί με μια μπαταρία 12,6 (V);

Λύση

Εφαρμόζοντας το νόμο του Ohm (σχέση 2.7) προκύπτει:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{12,6}{240 \cdot 10^{-3}} \Rightarrow R = 52,5 (\Omega)$$

Επομένως, η αντίσταση του λαμπτήρα είναι 52,5 (Ω).

Εφαρμογή 3η

Ποια τάση πρέπει να εφαρμοστεί σε μια αντίσταση 1 (ΚΩ) ώστε το διερχόμενο ρεύμα να είναι 30 (mA).

Λύση

Εφαρμόζοντας το νόμο του Ohm (σχέση 2.6) προκύπτει:

$$V = I \cdot R = (30 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 \cdot 10^3) = 30 (V)$$

Επομένως, η απαιτούμενη τάση είναι 30 (V).

Εφαρμογή 4η

Πόση ισχύ απορροφά μία θερμάστρα, όταν συνδεόμενη σε τάση 240 (V) διαρρέεται από ρεύμα 11 (A);

Λύση

Εφαρμόζοντας τη σχέση 2.8 προκύπτει:

$$P = V \cdot I = 240 \cdot 11 \Rightarrow P = 2640 (W)$$

Επομένως, η ισχύς που απορροφά η θερμάστρα είναι 2640 (W).

Εφαρμογή 5η

Μια τοστιέρα απαιτεί 5 (A) από μια περιοχή 120 (V). Πόση ενέργεια καταναλώνει σε 2 ώρες και πόσο θα κόστιζε η λειτουργία της εάν το κόστος μιας KWh είναι 40 δρχ.;

Λύση

Η απορροφούμενη από την τοστιέρα ισχύς είναι:

$$P = V \cdot I = 120 \cdot 5 \Rightarrow P = 600 \text{ (W)} = 0,6 \text{ (KW)}$$

Η ενέργεια που καταναλώνει σε 2 (h) προκύπτει εφαρμόζοντας τη σχέση 2.9 ίση με:

$$W = P \cdot t = 0,6 \cdot 2 \rightarrow W = 1,2 \text{ (KWh)}$$

και το απαιτούμενο κόστος της τοστιέρας (σχέση 2.10) είναι:

$$\text{Κόστος} = (\text{δρχ} / \text{KWh}) \cdot (\text{KWh}) = 40 \cdot 1,2 \Rightarrow \text{Κόστος} = 48 \text{ δρχ.}$$

Εφαρμογή 6η

Το ρεύμα δια μέσου μιας αντίστασης 100 (Ω) είναι 200 (mA). Πόση ενέργεια μετατρέπεται σε θερμότητα πάνω στην αντίσταση, σε χρόνο 10 min;

Λύση

Η απορροφούμενη από την αντίσταση ισχύς είναι:

$$P = V \cdot I = (I \cdot R) \cdot I = I^2 \cdot R = (200 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 100 \Rightarrow P = 4 \text{ (W)}.$$

Επομένως, η ενέργεια που μετατρέπεται σε θερμότητα πάνω στην αντίσταση σε χρόνο 10 min είναι:

$$W = P \cdot t = 4 \cdot (10 \cdot 60) = 2400 \text{ (J)}$$

Εφαρμογή 7η

Ένας θερμοσίφωνας έχει αντίσταση ισχύος 3 (KW) και λειτουργεί για 3 h. Ποιο είναι το κόστος λειτουργίας, εάν η τιμή της κιλιβατώρας είναι 40 δρχ.;

Λύση

Η ενέργεια που απορροφά ο θερμοσίφωνας από το δίκτυο είναι:

$$W = P \cdot t = 3 \cdot 3 \Rightarrow W = 9 \text{ (KWh)}$$

Επομένως, το κόστος λειτουργίας του είναι:

$$\text{Κόστος} = (\text{δρχ} / \text{KWh}) \cdot (\text{KWh}) = 9 \cdot 40 \Rightarrow \text{Κόστος} = 360 \text{ δρχ.}$$

Εφαρμογή 8η

Μια αλυσίδα από Χριστουγεννιάτικα φωτάκια διαρρέεται από ρεύμα 1 (A) όταν συνδέεται σε τάση 220 (V). Εάν η τιμή της κιλοβατώρας είναι 8 δρχ., πόσο κοστίζει να λειτουργήσουν τα φωτάκια για 40 ώρες;

Λύση

Η απορροφούμενη ισχύς από τα φωτάκια είναι:

$$P = V \cdot I = 220 \cdot 1 \Rightarrow P = 220 \text{ (W)} = 0,22 \text{ (KW)}$$

και η καταναλισκόμενη σε 40 h ενέργεια είναι

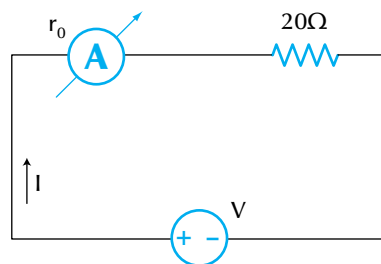
$$W = P \cdot t = 0,22 \cdot 40 \Rightarrow W = 8,8 \text{ (KWh)}$$

Επομένως, το κόστος λειτουργίας προκύπτει ίσο με:

$$\text{Κόστος} = (\text{δρχ} / \text{KWh}) \cdot (\text{KWh}) = 8 \cdot 8,8 \Rightarrow \text{Κόστος} = 70,4 \text{ δρχ}$$

Εφαρμογή 9η

Το αμπερόμετρο στο παρακάτω κύκλωμα έχει εσωτερική αντίσταση 1 (Ω). Ποιο είναι το σφάλμα μέτρησης του ρεύματος;



Λύση

Εφαρμόζοντας τη σχέση (2.11) προκύπτει:

$$\sigma = \frac{1}{1 + \frac{R}{r_0}} = \frac{1}{1 + \frac{20}{1}} = \frac{1}{21} = 0,047 \quad \text{ή} \quad \sigma \% = 4,7$$

Επομένως, το σφάλμα μέτρησης του ρεύματος είναι 4,7%.

Εφαρμογή 10η

Το αναλογικό πολύμετρο του σχήματος 2.16 βρίσκεται σε λειτουργία (Ω), κλίμακα $\times 1$ K. Η βελόνα δείχνει την πρώτη υποδιαίρεση αριστερά από την υποδιαίρεση 30. Πόση αντίσταση δείχνει το όργανο;

Λύση

Ανάμεσα στο 30 και στο 50, υπάρχουν δύο κύριες υποδιαίρεσεις, επομένως η κάθε μία έχει αξία $20 : 2 = 10$ μονάδων. Ανάμεσα στο 30 και το 40 υπάρχουν δύο δευτερεύουσες υποδιαίρεσεις, επομένως η κάθε μία έχει αξία $10 : 2 = 5$ μονάδων.

Επειδή το όργανο δείχνει την πρώτη υποδιαίρεση αριστερά του 30, δείχνει αξία 35 μονάδων και αφού είναι ρυθμισμένο στην κλίμακα $\times 1$ K, η αντίσταση που δείχνει το όργανο είναι:

$$R = 35 \cdot 1 \text{ K}\Omega = 35 \text{ (K}\Omega\text{)}$$

Εφαρμογή 11η

Το αναλογικό πολύμετρο του σχήματος 2.16 βρίσκεται σε λειτουργία (DCV) και ο διακόπτης επιλογής είναι τοποθετημένος στην κλίμακα 1000. Η βελόνα δείχνει την πρώτη υποδιαίρεση δεξιά του 7 στην κλίμακα 0 μέχρι 10. Ποια τάση δείχνει το όργανο;

Λύση

Ανάμεσα στο 7 και το 8 υπάρχουν πέντε δευτερεύουσες υποδιαίρεσεις,

επομένως η κάθε μια έχει αξία $1 : 5 = 0,2$ μονάδων. Η ένδειξη της κλίμακας, είναι λοιπόν 7,2. Η κλίμακα όμως από 0 έως 10 πρέπει να πολλαπλασιαστεί με το 100, για να γίνει ισοδύναμη με την κλίμακα 1000.

Επομένως, η τάση που δείχνει το όργανο είναι:

$$V = 7,2 \cdot 100 \Rightarrow V = 720 \text{ (V)}$$

2 – 7 Προβλήματα προς λύση

- 1^ο** Λαμπτήρας διαρρέεται από ρεύμα 1,6 (A) όταν συνδεθεί σε τάση 240 (V). Ποια είναι η αντίσταση του λαμπτήρα; (150 Ω)
- 2^ο** Πόση τάση χρειάζεται για να προκληθεί ροή ρεύματος 1,6 (A) σε μια συσκευή που έχει αντίσταση 30 (Ω); (48 V)
- 3^ο** Ποια είναι η ισχύς μιας ηλεκτρικής θερμάστρας που τραβά ρεύμα 6 (A) από μια παροχή 220 (V); (1320 W)
- 4^ο** Τα θερμαντικά στοιχεία ενός στεγνωτήρα ρούχων έχουν ισχύ 4 (KW) και τάση λειτουργίας 240 (V). Πόσο ρεύμα καταναλώνουν; (16,7 A)
- 5^ο** Να βρείτε την ισχύ που καταναλώνεται σε αντίσταση 100 (Ω) η οποία διαρρέεται από ρεύμα 0,2 (A). (4 W)
- 6^ο** Συσκευή διαρρέεται από ρεύμα 1,5 (A) όταν τροφοδοτείται από μπαταρία 12 (V). Πόση ενέργεια απορροφά σε 2 ώρες; (36 Wh)
- 7^ο** Ένα ηλεκτρικό σίδερο λειτουργεί σε τάση 220 (V) και διαρρέεται από ρεύμα 15 (A). Εάν η χρέωση είναι 20 δρχ. ανά κιλοβατώρα, πόσο κοστίζει η λειτουργία του για 2 ώρες; (132 δρχ.)

- 8^ο** Ένας λαμπτήρας πυρακτώσεως λειτουργεί με τάση 220 (V) και καταναλώνει ισχύ 150 (W). Ποια θα είναι η ένταση του ρεύματος που θα διαρρέει τον λαμπτήρα και ποια η αντίστασή του. (0,682 A, 322,67 Ω)
- 9^ο** Η αντίσταση ενός ηλεκτρικού θερμοσίφωνα είναι 30 Ω και επιτρέπει να περάσει ρεύμα 10 (A). Μετά από πόσο χρόνο λειτουργίας καταναλώνει ενέργεια 4 (KWh) και πόσο θα κοστίσει εάν η χρέωση είναι 20 δρχ / KWh; (1,33 h, 80 δρχ.)
- 10^ο** Το αναλογικό πολύμετρο του σχήματος 2.16 βρίσκεται σε λειτουργία (Ω), κλίμακα $\times 10$ K. Η βελόνα δείχνει την πρώτη υποδιαίρεση δεξιά του 30. Πόση αντίσταση δείχνει το όργανο; (280 KΩ)
- 11^ο** Το αναλογικό πολύμετρο του σχήματος 2.16 βρίσκεται σε λειτουργία (DCV) και ο διακόπτης επιλογής είναι τοποθετημένος στην κλίμακα 1000. Η βελόνα δείχνει τη δεύτερη υποδιαίρεση αριστερά του 7 στην κλίμακα 0 μέχρι 10. Ποια τάση δείχνει το όργανο; (660 V)